مهندسی عمران فردوسی

https://civil-ferdowsi.um.ac.ir/

انجمن مهندسی روسازی ایران
انجمن بتن ایران

تطبیق پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تأسیسات شرکت نفت با آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای ایران*

مقاله پژوهشی

نیما شهبازی [۱]   ایمان عشایری [۲]

DOI: 10.22067/jfcei.2024.89947.1322

چکیده طیف طرح ارائه شده در آیین‌نامه طرح لرزه‌ای تأسیسات شرکت نفت (نشریه ۰۳۸)، برگرفته از طیف طرح آیین‌نامه ASCE 7-02 آمریکا بوده و بر پایه دو شتاب طیفی S_S و S_1 است. با توجه به اینکه مقادیر شتاب طیفی S_S و S_1 برای مناطق لرزه‌خیزی ایران موجود نیست و از آنجایی که طیف طرح متداول مورد استفاده در ایران، طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ بوده که بر پایه حداکثر شتاب سنگ بستر A می‌باشد، لذا در این مقاله به نحوی طیف طرح نشریه ۰۳۸ با طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ تطبیق داده شد و مقادیر S_S، S_1، S_{DS} و S_{D1} متناسب با مناطق چهارگانه لرزه‌خیزی ایران محاسبه و طیف‌های طراحی ارائه شد. در بخش دیگر، به ارزیابی ضرایب انتقال شتاب به سطح زمین (F_a و F_v) ارائه شده در نشریه ۰۳۸ پرداخته شد. مشاهده شد که بازه‌بندی این ضرایب، متناسب با شرایط لرزه‌خیزی ایران نیست. لذا بازه پیشنهادی برای ضرایب ذکر شده، بر اساس مقادیر S_S ، S_1 و متناسب با شرایط لرزه‌خیزی ایران ارائه شد. در بخش دیگر این پژوهش، به ارزیابی ضرایب و روابط مورد استفاده در نشریه ۰۳۸ پرداخته شد. بررسی‌ها نشان داد که تعدادی از روابط و ضرایب مورد استفاده در نشریه ۰۳۸، مستقیما و بدون تغییر از آیین‌نامه ASCE 7-02 آمریکا گرفته شده‌اند و بر اساس نتایج این مطالعه، مناسب شرایط لرزه‌خیزی ایران نیستند. در این مطالعه، برای ارزیابی ضریب تبدیل طیف با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال به طیف با دوره بازگشت ۴۷۵ سال، از نتایج تحلیل خطر شهر کرمانشاه استفاده شد.

واژه‌های کلیدی طیف طرح،آیین‌نامه طرح لرزه‌ای تأسیسات شرکت نفت، استاندارد ۲۸۰۰، شتاب طیفی.

Adapting Seismic Risk Zonation of The Seismic Design Code of Oil Company Facilities with The Seismic Design Code of Iran

Nima Shahbazi   Iman Ashayeri

Abstract *The design spectrum presented in the Iranian Seismic Design Code for Petroleum Facilities (Publication-038) is derived from the design spectrum of the US ASCE 7-02 code. It is based on two spectral accelerations S_S and S_1. Considering that the spectral acceleration values of S_S and S_1 are not available for the seismic regions of Iran and since the seismic design spectrum in Iran is the standard design spectrum of the code-2800, which is based on the maximum acceleration of bedrock A. In this article, we adapt the seismic design spectrum of Publication-038 with the seismic design spectrum of the code-2800. Thereby, we calculate the values of S_S, S_1, S_{DS} and S_{D1} according to the four seismic zones of Iran and based on the four classifications of ground condition in Iranian seismic design code-2800 and provide the design spectra. in the other part, the evaluation of acceleration transfer coefficients to the ground surface (Fa and Fv) presented in publication-038 is discussed. The results show that the range of these coefficients is not appropriate to the seismic conditions of Iran. Therefore, the suggested range for the mentioned coefficients is presented based on the values of S_S, S_1 and according to the seismic conditions of Iran. In the other part of this research, the coefficients and relationships used in the publication-038 are evaluated. Investigations show that some of the relations and coefficients used in publication-038 are taken directly and without change from the American ASCE 7-02 regulations and based on the results of this study, they are not suitable for the seismic conditions of Iran.*

Key words Design Spectrum, Iranian Seismic Design Code for Petroleum Facilities, Standard 2800, Spectral acceleration.

* تاریخ دریافت مقاله ۱۴۰۳/۷/۲ و تاریخ پذیرش آن ۱۴۰۳/۹/۲۰ می‌باشد.

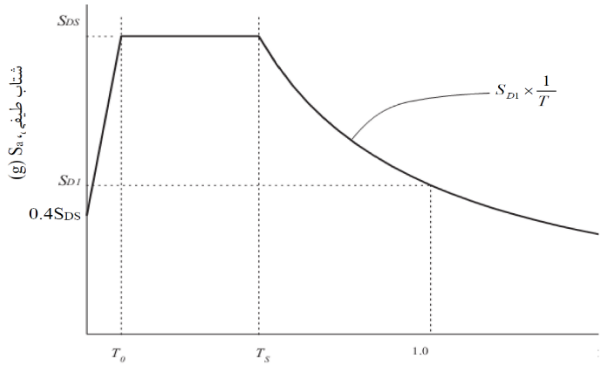
(۱) نویسندهٔ مسئول؛ دانشجوی دکتری تخصصی گرایش سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

(۲) دانشیار مهندسی زلزله، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

Email: n.shahbazi@razi.ac.ir

مقدمه

آیین‌نامه طرح لرزه‌ای تأسیسات شرکت نفت (نشریه ۰۳۸) [1] طیفی را بر اساس آیین‌نامه ASCE7-02 [2] و بر پایه دو شتاب طیفی S_S و S_1 ارائه می‌دهد. S_s و S_1 به ترتیب برابر پارامترهای شتاب طیفی (بر حسب شتاب گرانش زمین) نظیر زلزله نادر (سطح خطر سوم) در زمان تناوب‌های کوتاه و یک ثانیه، روی بستر سنگی (سرعت موج برشی بین ۷۵۰ تا ۱۵۰۰ متر بر ثانیه) حاصل از مطالعه ویژه ساختگاه با میرایی ۵٪ هستند. این در حالی است که در ایران، معمولا از طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ [3] استفاده می‌شود که بر پایه حداکثر شتاب طیفی در سنگ بستر (A) تنظیم شده است. به دلیل عدم وجود پهنه‌بندی مقادیر S_S و S_1برای مناطق مختلف ایران، در این مطالعه به تطبیق طیف نشریه ۰۳۸ با طیف استاندارد ۲۸۰۰ پرداخته شد. هدف این مقاله، محاسبه مقادیر S_S وS_1، و در نهایت مقادیر S_{DS} و S_{D1} برای مناطق چهارگانه لرزه‌خیزی ایران، بر اساس دسته‌بندی چهارگانه نوع ساختگاه است. در شکل (۱) طیف طرح نشریه ۰۳۸ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که این طیف، همان طیف ارائه شده در آیین‌نامه ASCE7-02 آمریکا است.



شکل ۱ طیف طرح نشریه ۰۳۸ [1]

امیدی‌نسب به ارزیابی نیروهای طراحی لرزه‌ای مخازن هوایی ذخیره مایعات بر اساس طیف طرح استاندارد ۲۸۰۰ و نشریه شماره ۰۳۸ در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد زلزله پرداخت. بر اساس مطالعات ایشان، در استاندارد ۲۸۰۰، نسبت ضریب برش پایه مخزن به ضریب برش پایه ساختمان شکل‌پذیر در پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد به ترتیب برای مخازن با ضریب رفتار ۳ و ۲ در پریودهای کوتاه، برابر با ۳/۵ و ۵/۲۵ بوده در حالی که این مقدار در نشریه ۰۳۸ به ترتیب ۴ و ۶ حاصل شده است. همچنین نتایج مطالعات ایشان نشان داد که مقدار نسبت ضریب برش پایه مخزن به ساختمان، برای هر دو ضریب رفتار و چهار نوع خاک در نشریه ۰۳۸ به مقدار ۱۴ درصد بیشتر از نتایج ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ در پریودهای کوتاه و به مقدار حداکثر ۳۶ درصد کمتر از نتایج ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ در پریودهای بلند است [4]. برخورداری و همکاران به مقایسه آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله با ضوابط عمومی آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تأسیسات و سازه‌های صنعت نفت پرداختند و پیشنهادهایی برای اصلاح ضوابط این آیین‌نامه ارائه کردند [5]. در آیین‌نامه ASCE7-02، برای انتقال شتاب از سنگ بستر به سطح زمین، از دو ضریب F_a و F_v استفاده شده که در نشریه ۰۳۸ نیز مستقیما از این ضرایب و بدون تغییر استفاده شده است. در جدول (۱)، مقادیر ضریب F_a و F_v ارائه شده توسط نشریه ۰۳۸ ارائه شده است. در این جدول، برای محاسبه مقادیر ضریب F_a و F_v، از چندین بازه عددی برای مقادیر S_s و S_1 استفاده شده است که در هر دو آیین‌نامه یکسان هستند.

جدول ۱ مقادیر F_a و F_v برحسب نوع ساختگاه و مقادیر شتاب طیفی ارائه شده در نشریه ۰۳۸ [1]

مقدار F_a بر حسب نوع خاک و مقدار S_s					
نوع خاک	مقدار شتاب طیفی روی بستر سنگی در زمان تناوب کوتاه				
	S_s ≤ ۰/۲۵	S_s = ۰/۵۰	S_s = ۰/۷۵	S_s = ۱/۰۰	S_s ≥ ۱/۲۵
I	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
II	۱/۲۰	۱/۲۰	۱/۱۰	۱/۰۰	۱/۰۰
III	۱/۶۰	۱/۴۰	۱/۲۰	۱/۱۰	۱/۰۰
IV	۲/۵۰	۱/۷۰	۱/۲۰	۰/۹۰	۰/۹۰
مقدار F_v بر حسب نوع خاک و مقدار S_1					
نوع خاک	مقدار شتاب طیفی روی بستر سنگی در زمان تناوب یک ثانیه				
	S_1 ≤ ۰/۱۰	S_1 = ۰/۲۰	S_1 = ۰/۳۰	S_1 = ۰/۴۰	S_1 ≥ ۰/۵۰
I	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
II	۱/۷۰	۱/۶۰	۱/۵۰	۱/۴۰	۱/۳۰
III	۲/۴۰	۲/۰۰	۱/۸۰	۱/۶۰	۱/۵۰
IV	۳/۵۰	۳/۳۰	۲/۸۰	۲/۴۰	۲/۴۰

در نشریه ۰۳۸ تبدیل طیف با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال به طیف با دوره بازگشت ۴۷۵ سال با استفاده از یک ضریب $\frac{۲}{۳}$ اعمال

شده است. بر اساس مطالعات انجام شده، این فرض که میان شتاب طیفی زلزله طرح و نادر یک نسبت $\frac{۲}{۳}$ وجود دارد از نظر علم تحلیل خطر احتمالاتی صرفا یک تخمین بوده و نادقیقی آن در بسیاری از مناطق جهان (به ویژه در ایران) اثبات شده است [6]. در این مقاله برای بررسی اثر این ضریب $\frac{۲}{۳}$، از نتایج تحلیل خطر شهر کرمانشاه استفاده شد [7] و اثر این مورد در بازه‌های پیشنهادی ارائه شده برای مقادیر S_s و S_1 لحاظ شده است. تعدادی از روابط و ضرایب نشریه ۰۳۸ نیز مستقیما و بدون تغییر از آیین‌نامه ASCE 7-02 گرفته شده است لذا در این مقاله به بررسی و ارزیابی این ضرایب در بحث سازگاری با شرایط لرزه‌خیزی ایران نیز پرداخته می‌شود.

روش تحقیق و محاسبه ضرایب

بر اساس بند ۳-۷-۱ آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای شرکت نفت (ویرایش ۱۳۹۵)، با داشتن مقادیر S_s ، S_1 و استفاده از روابط (۱) و (۲) می‌توانیم مقادیر S_{DS} و S_{D1} را محاسبه کنیم.

$$s_{DS} = \frac{2}{3} F_a S_s \quad (۱)$$

$$s_{D1} = \frac{2}{3} F_v S_1 \quad (۲)$$

در این روابط، S_{DS} و S_{D1} به ترتیب پارامترهای شتاب طیف طراحی در زمان تناوب کوتاه و زمان تناوب یک ثانیه روی ساختگاه، حاصل از تحلیل خطر به روش احتمالاتی در سطح خطر دوم با نسبت میرایی ۵٪ می‌باشند. S_s و S_1 به ترتیب برابر پارامترهای شتاب طیفی (بر حسب شتاب گرانش زمین) نظیر زلزله نادر (سطح خطر سوم) در زمان تناوب‌های کوتاه و یک ثانیه، روی بستر سنگی (سرعت موج برشی بین ۷۵۰ تا ۱۵۰۰ متر بر ثانیه) حاصل از مطالعه ویژه ساختگاه با میرایی ۵٪ می‌باشند. F_a و F_v به ترتیب برابر مقادیر ضریب اصلاح طیف در بازه شتاب ثابت و سرعت ثابت، با توجه به نوع ساختگاه و بر اساس جدول (۱) می‌باشند.

با توجه به اینکه ضرایب F_a و F_v برای ساختگاه نوع یک، برابر ۱ هستند و S_{DS} و S_{D1} پارامترهای شتاب طیف طراحی در سطح خطر دو هستند، لذا می‌توانیم با تطبیق دادن پارامترهای شتاب طیفی استاندارد ۲۸۰۰ (A.B) با مقادیر طیف طراحی تأسیسات شرکت نفت، مقادیر S_s و S_1 را مطابق روابط (۳) و (۴) برای مناطق ایران به دست بیاوریم. از آنجایی که S_s و S_1 به ترتیب برابر پارامترهای شتاب طیفی (بر حسب شتاب گرانش زمین)، روی بستر سنگی هستند، لذا بر اساس شدت لرزه‌ای، برای مناطق ایران ثابت هستند.

$$AB(\text{for soil type 1 and } T = 1s) = S_{D1} = \frac{2}{3} F_v S_1 \quad (۳)$$

$$AB(\text{for soil type 1 and } T = \text{Short period}) = S_{Ds} = \frac{2}{3} F_a S_s \quad (۴)$$

پس از محاسبه مقادیر S_s و S_1 برای مناطق چهارگانه ایران، ضرایب F_a و F_v برای انواع خاک‌ها با استفاده از درون‌یابی خطی از جدول (۱) محاسبه شدند. سپس با استفاده از روابط (۱) و (۲)، مقادیر S_{DS} و S_{D1} متناسب با ساختگاه‌های خطر لرزه‌ای ایران محاسبه شد. در این مرحله مقادیر S_s و S_1 ثابت و بر اساس روابط (۳) و (۴) در گام قبلی محاسبه شده است. در این روابط، منظور از زمان تناوب کوتاه، پارامتر T_s در جدول (۲-۲) ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ [3] بوده که برای زمین نوع I برابر ۰/۴ است.

در گام بعدی، با داشتن مقادیر S_{DS} و S_{D1}، طیف طرح لرزه‌ای متناسب با پهنه خطرپذیری ایران و بر اساس نوع ساختگاه رسم شده و با طیف استاندارد ۲۸۰۰ مقایسه می‌شود. برای ارزیابی ضریب $\frac{۲}{۳}$ در روابط (۱) و (۲) که ارتباط دهنده زلزله سطح خطر ۲ و ۳ هست، از نتایج تحلیل خطر شهر کرمانشاه استفاده می‌شود. پس از ارزیابی این ضریب، به محاسبه ضرایب S_s و S_1 بر اساس نتایج تحلیل خطر کرمانشاه می‌پردازیم. سپس ضرایب و روابط ارائه شده در نشریه ۰۳۸ را بر اساس نتایج به دست آمده بررسی می‌کنیم. در انتها هم بازه پیشنهادی برای مقادیر S_s، S_1 و ضرایب F_a و F_v ارائه می‌کنیم. لازم به ذکر است که محاسبات انجام شده در این مقاله، صرفا محدود به ساختگاه نوع I نیست. در واقع همان طور که ذکر شد، S_s و S_1 پارامترهای شتاب طیفی روی بستر سنگی (سرعت موج برشی بین ۷۵۰ تا ۱۵۰۰ متر بر ثانیه) حاصل از مطالعه ویژه ساختگاه با میرایی ۵٪ می‌باشند. لذا با داشتن مقدار این دو پارامتر و ضرب آن‌ها در پارامترهای F_a و F_v، مقادیر S_{DS} و S_{D1} متناسب با ساختگاه‌های خطر لرزه‌ای ایران محاسبه می‌شود. از نتایج تحلیل خطر شهر کرمانشاه، تنها برای ارزیابی ضریب $\frac{۲}{۳}$ ارتباط دهنده طیف ۲۴۷۵ سال به طیف ۴۷۵ سال و بازه پیشنهادی ضرایب S_s و S_1 در بحث تحلیل خطر استفاده شد. لذا ضرایب S_s و S_1، F_a و F_v و مقادیر S_{DS} و S_{D1} محاسبه شده در این تحقیق محدود به شهر

کرمانشاه نیستند.

در جدول (۲) مقادیر S_s، S_1 برای مناطق چهارگانه لرزه‌خیزی ایران ارائه شده است. این ضرایب با تطبیق دادن طیف استاندارد ۲۸۰۰ با طیف آیین‌نامه شرکت نفت محاسبه شده و ثابت هستند. در قسمت دیگر این جدول، ۸۰ درصد مقادیر S_s ، S_1 محاسبه شده است. بر اساس بند ۳-۴-۲ نشریه شماره ۰۳۸، کران پایین طیف طرح نباید از ۸۰ درصد طیف استاندارد ۲۸۰۰ کمتر باشد. در جداول (۳) و (۴)، مقدار F_a و F_v بر اساس مقادیر S_s، S_1 و انواع خاک با استفاده از درون‌یابی خطی محاسبه شده است. در جداول (۵) و (۶) نیز مقدار S_{DS} و S_{D1} براساس مناطق چهارگانه لرزه‌خیزی ایران و انواع خاک محاسبه شده است.

جدول ۲ مقادیر شتاب طیفی S_s و S_1 برای مناطق چهارگانه لرزه‌خیزی ایران

A	S_s	S_1	$۰/۸*S_s$	$۰/۸*S_1$
۰/۳۵	۱/۳۱۳	۰/۵۸۶	۱/۰۵	۰/۴۶۹
۰/۳	۱/۱۲۵	۰/۵۰۳	۰/۹	۰/۴۰۲
۰/۲۵	۰/۹۳۸	۰/۴	۰/۷۵	۰/۳۲
۰/۲	۰/۷۵	۰/۳۲	۰/۶	۰/۲۵۶

جدول ۳ مقدار F_a برحسب نوع خاک و مقدار S_s

نوع خاک	S_s= ۰/۷۵	S_s = ۰/۹۴	S_s = ۱/۱۳	S_s = ۱/۳۱
I	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰
II	۱/۱	۱/۰۲۴	۱/۰	۱/۰
III	۱/۲	۱/۱۲۴	۱/۰۵	۱/۰
IV	۱/۲	۰/۹۷۴۴	۰/۹	۰/۹

جدول ۴ مقدار F_v بر حسب نوع خاک و مقدار S_1

نوع خاک	S_1 = ۰/۳۲	S_1 = ۰/۴۰	S_1 = ۰/۵۰	S_1 = ۰/۵۹
I	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰
II	۱/۴۸	۱/۴	۱/۳	۱/۳
III	۱/۷۶	۱/۶	۱/۵	۱/۵
IV	۲/۷۲	۲/۴	۲/۴	۲/۴

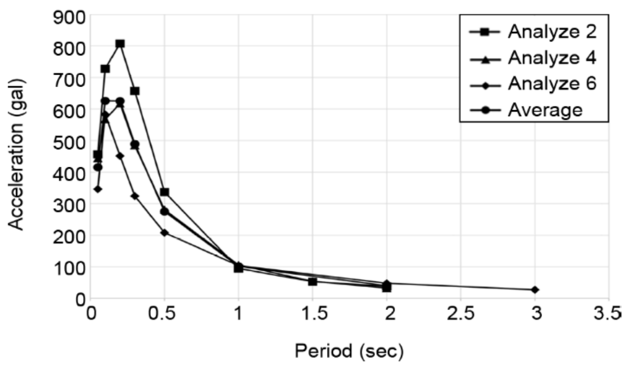
جدول ۵ مقدار S_{DS} بر حسب نوع خاک و مقدار S_S

نوع خاک	S_s = ۰/۷۵	S_s= ۰/۹۴	S_s = ۱/۱۳	S_s = ۱/۳۱
I	۰/۵۰	۰/۶۲۵	۰/۷۵	۰/۸۷۵
II	۰/۵۵۰	۰/۶۴۰۵	۰/۷۵	۰/۸۷۵
III	۰/۶۰	۰/۷۰۳	۰/۷۸۷۵	۰/۸۷۵
IV	۰/۶۰	۰/۶۰۹	۰/۶۷۵	۰/۷۸۷۵

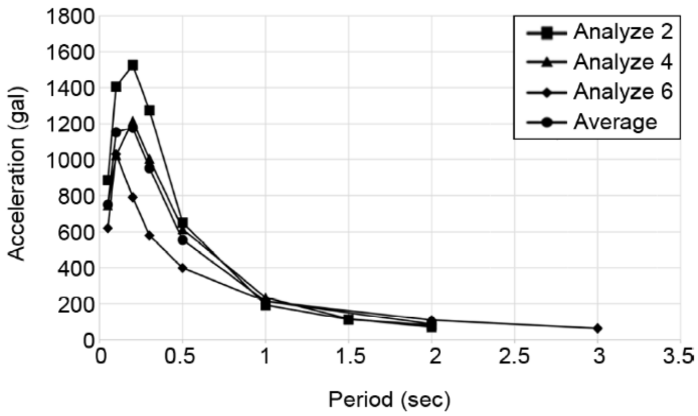
جدول ۶ مقدار S_{D1} بر حسب نوع خاک و مقدار S_1

نوع خاک	S_1 = ۰/۳۲	S_1 = ۰/۴۰	S_1 = ۰/۵۰	S_1 = ۰/۵۶
I	۰/۲۱۳	۰/۲۶۶۶	۰/۳۳۵	۰/۳۹۰۸
II	۰/۳۱۵۷	۰/۳۷۳۳	۰/۴۳۵۵	۰/۵۰۸۰
III	۰/۳۷۵۴	۰/۴۲۶۶	۰/۵۰۲۵	۰/۵۸۶۲
IV	۰/۵۸۰۲	۰/۶۴	۰/۸۰۴	۰/۹۳۸

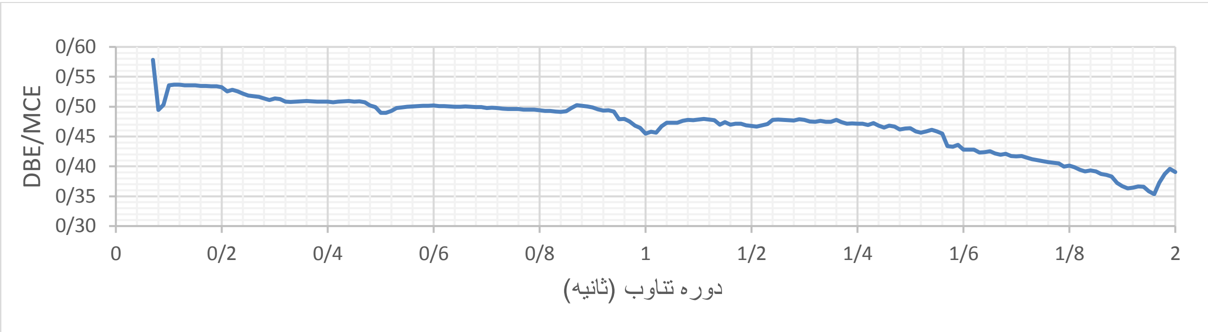
در شکل‌های (۲ و ۳)، به ترتیب نمودار شتاب طیفی شهر کرمانشاه بر روی سنگ بستر با دوره بازگشت ۴۷۵ سال و ۲۴۷۵ سال ارائه شده است. در این شکل‌ها، منظور از تحلیل ۲، ۴ و ۶، استفاده از روابط کاهندگی امبراسیس، زارع و قاسمی [10-8] و منظور از Average، میانگین مقادیر این سه تحلیل است. در شکل (۴) نیز نسبت شتاب سنگ بستر با دوره بازگشت ۴۷۵ سال (DBE) به ۲۴۷۵ سال (MCE) در زمان تناوب‌های مختلف بر اساس نتایج تحلیل خطر شهر کرمانشاه ارائه شده است [7]. مشاهده می‌شود که در تمام بازه زمان تناوبی، نسبت شتاب کمتر از ضریب $\frac{۲}{۳}$است. در جدول (۷)، مقادیر S_s و S_1 بر اساس ضریب میانگین در شکل (۴) که برابر ۰/۴۷ است، محاسبه شده است.



شکل ۲ نمودار شتاب طیفی شهر کرمانشاه با دوره بازگشت ۴۷۵ سال [7]



شکل ۳ نمودار شتاب طیفی شهر کرمانشاه با دوره بازگشت ۲۴۷۵ سال [7]



شکل ۴ نمودار نسبت شتاب طیفی شهر کرمانشاه با دوره بازگشت ۴۷۵ به ۲۴۷۵ سال

جدول ۷ مقادیر شتاب طیفی S_S و S_1 برای مناطق چهارگانه لرزه‌خیزی ایران بر اساس ضریب ۰/۴۷

A	S_S	S_1
۰/۳۵	۱/۸۷۳	۰/۸۳۶
۰/۳۰	۱/۶۰۵	۰/۷۱۷
۰/۲۵	۱/۳۳۸	۰/۵۷۱
۰/۲۰	۱/۰۷۰	۰/۴۵۷

طیف‌های طراحی

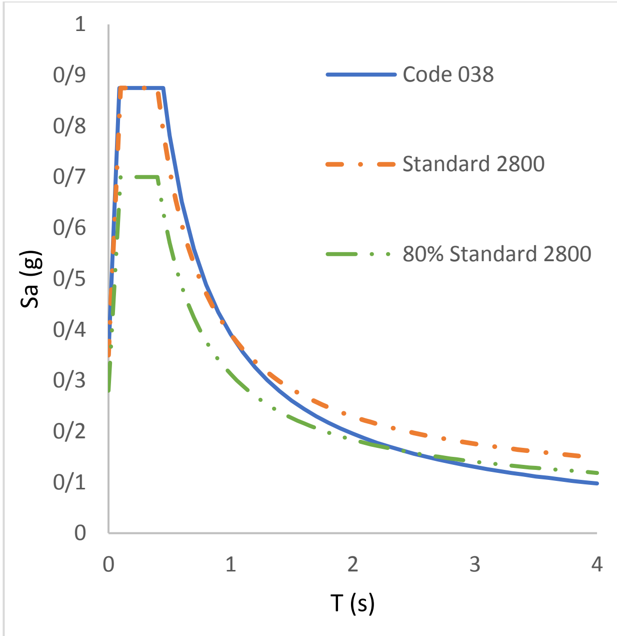
در شکل‌های (۵) تا (۸)، به ترتیب طیف طرح لرزه‌ای DBE برای انواع خاک و سطوح خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم ارائه شده است. در این نمودارها منظور از Code 038، طیف طرح محاسبه شده نشریه ۰۳۸ بر اساس شرایط لرزه‌خیزی ایران بوده که در این مقاله محاسبه شده است. منظور از Standard 2800 نیز همان طیف استاندارد ۲۸۰۰ ایران است. همچنین در این نمودارها، ۸۰ درصد مقادیر طیف استاندارد ۲۸۰۰ برای مقایسه رسم شده است. همان طور که در بخش‌های قبلی ذکر شد، بر اساس بند ۳-۴-۲ نشریه شماره ۰۳۸، کران پایین طیف طرح نباید از ۸۰ درصد طیف استاندارد ۲۸۰۰ کمتر باشد. لذا در قسمت‌هایی که طیف محاسبه شده بر اساس نشریه ۰۳۸ و شرایط لرزه‌خیزی ایران، کمتر از ۸۰ درصد طیف ۲۸۰۰ باشد، باید از همان ۸۰ درصد طیف ۲۸۰۰ در آن بازه دوره تناوبی استفاده شود. برای رسم طیف نشریه ۰۳۸، از شکل (۱) ارائه شده در این مقاله استفاده شد. بر اساس بند ۳-۷-۱ آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای شرکت نفت (ویرایش ۱۳۹۵) [1]، در این شکل پارامترهای T_0 و T_S، ضرایب مربوط به خاک و بر اساس زمان تناوب بوده که در این مقاله به ترتیب براساس روابط (۵) و (۶) محاسبه می‌شوند.

$$T_0 = 0.2 \times \frac{SD_1}{SD_S} = 0.2 \times \frac{SM_1}{SM_S} = 0.2 \times \frac{F_V S_1}{F_a S_S} \quad (۵)$$

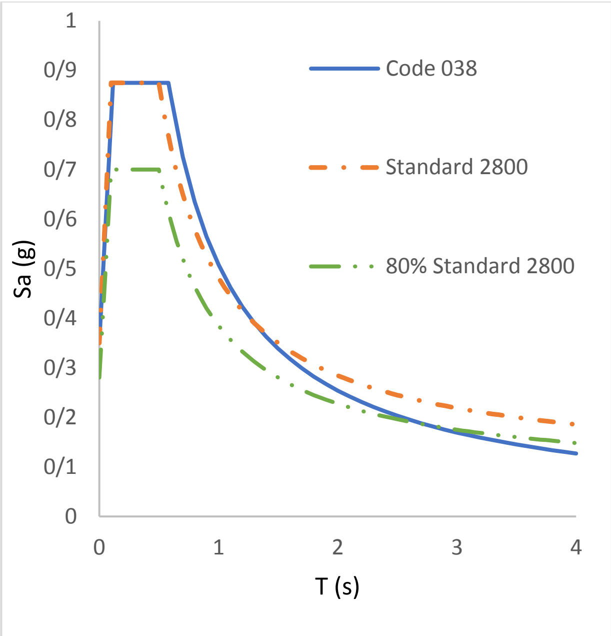
$$T_S = \frac{SD_1}{SD_S} = \frac{SM_1}{SM_S} = \frac{F_V S_1}{F_a S_S} \quad (۶)$$

از آنجایی که در روابط (۱) و (۲)، برای تبدیل طیف با دوره

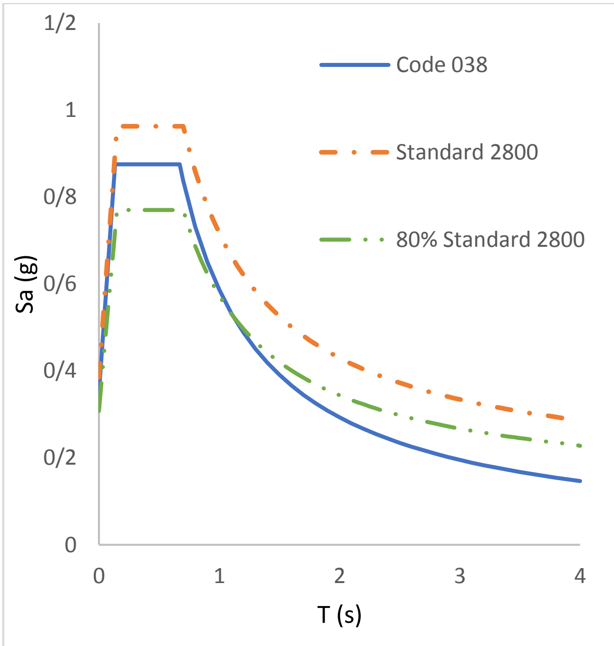
بازگشت ۲۴۷۵ سال به ۴۷۵ است از یک ضریب ثابت دو سوم استفاده شده، لذا در این روابط می‌توانیم از S_{MS} و S_{M1} به جای S_{DS} و S_{D1} استفاده کنیم. منظور از S_{MS} و S_{M1} به ترتیب پارامترهای شتاب طیف طراحی در زمان تناوب کوتاه و زمان تناوب یک ثانیه روی ساختگاه، حاصل از تحلیل خطر به روش احتمالاتی در سطح خطر سوم (زلزله نادر) با نسبت میرایی ۵٪ است.



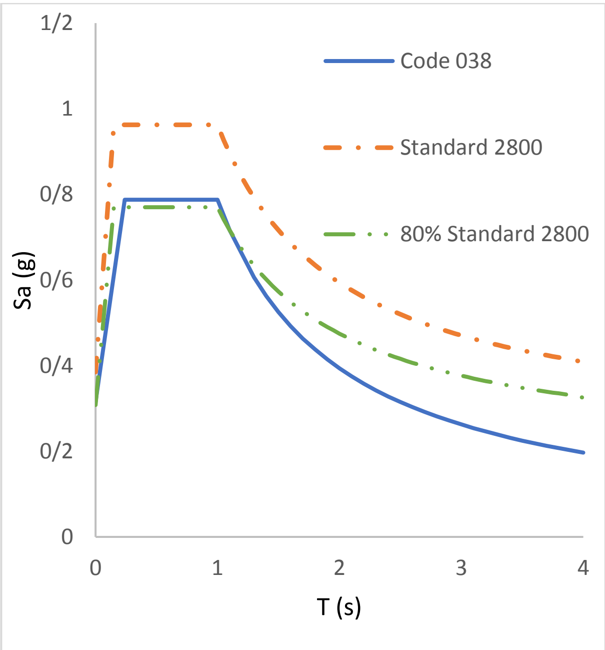
(الف)



(ب)

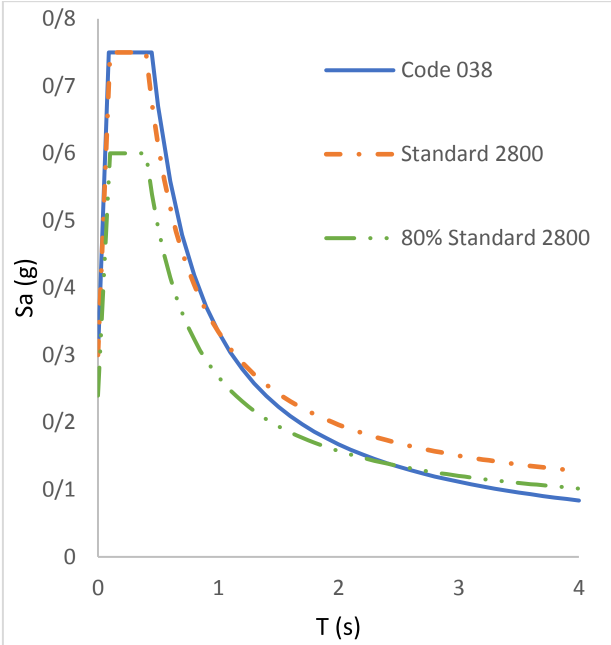


(ج)

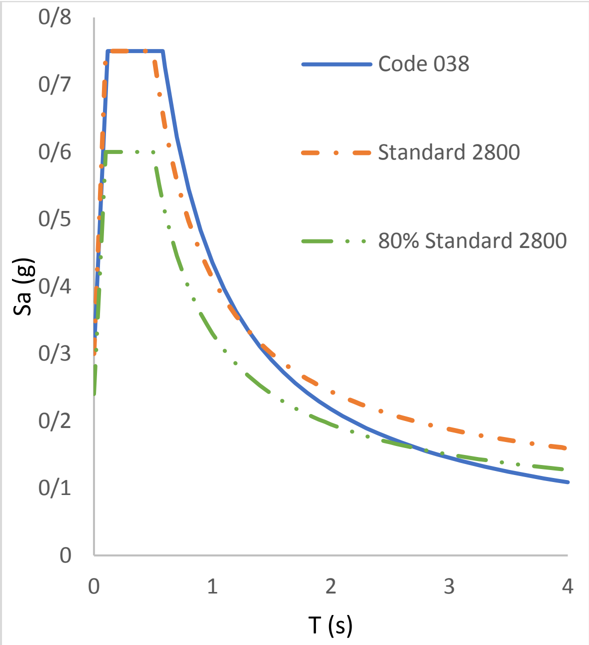


(د)

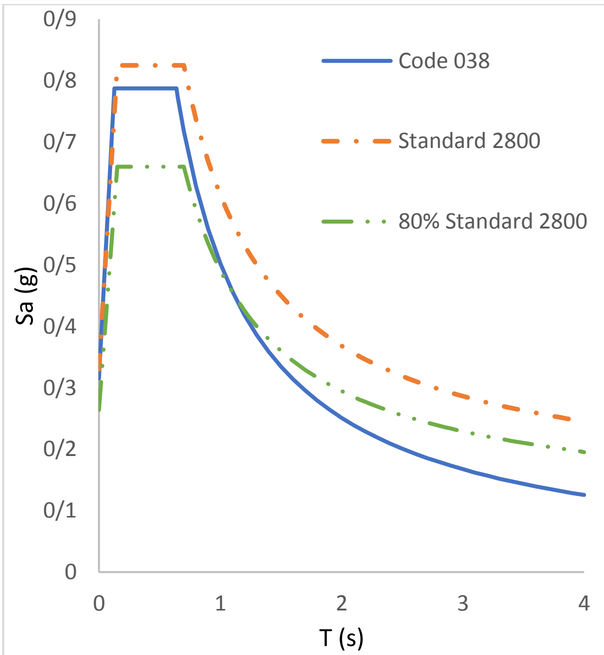
شکل ۵ طیف طرح لرزه‌ای DBE در سطح خطر بسیار زیاد و ساختگاه نوع: (الف) I، (ب) II، (ج) III، (د) IV



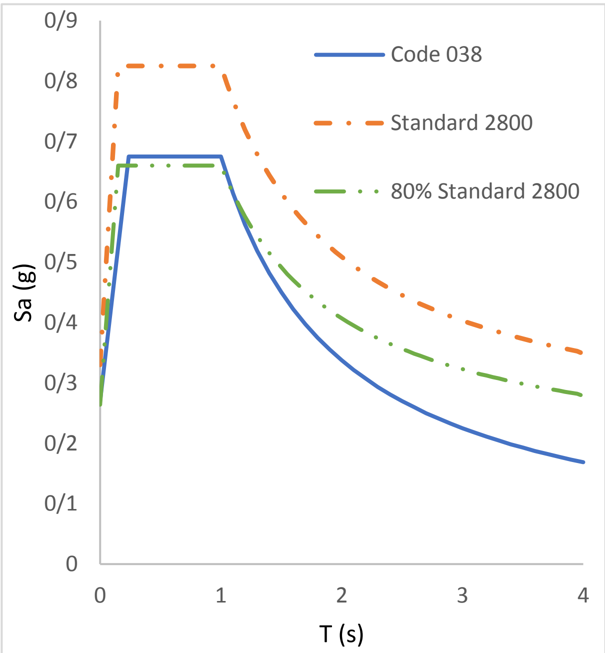
(الف)



(ب)

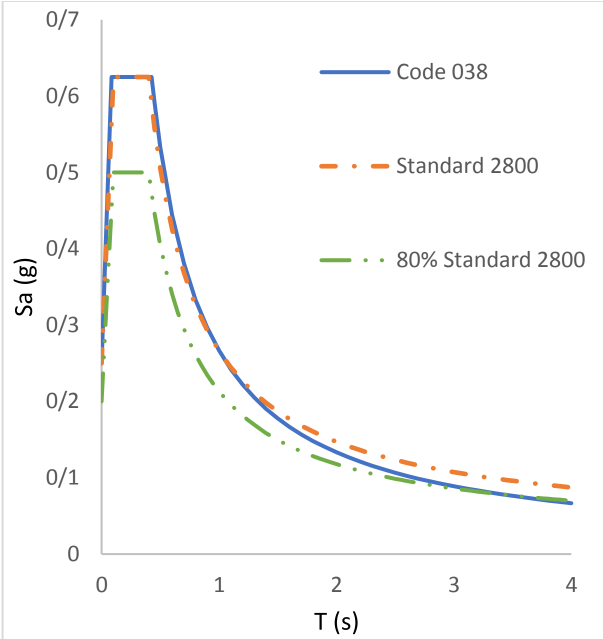


(ج)

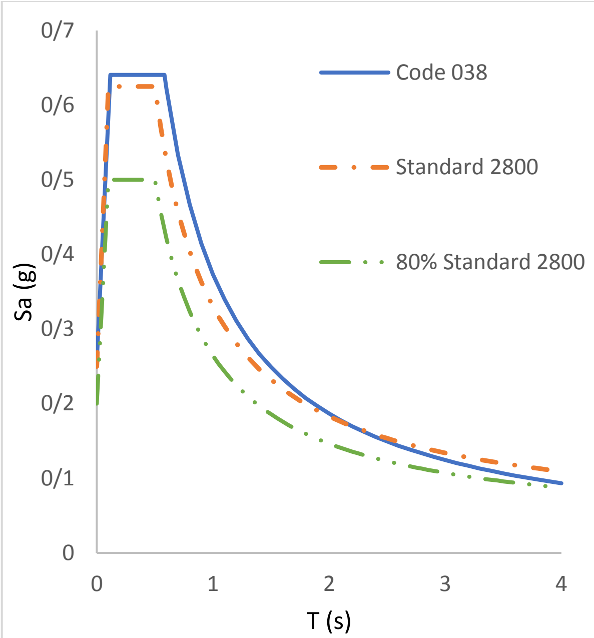


(د)

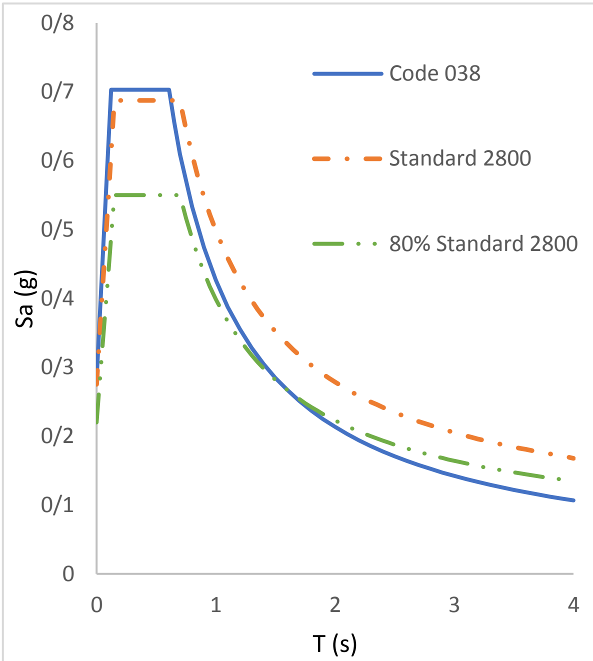
شکل ۶ طیف طرح لرزه‌ای DBE در سطح خطر زیاد و ساختگاه نوع: (الف) I، (ب) II، (ج) III، (د) IV



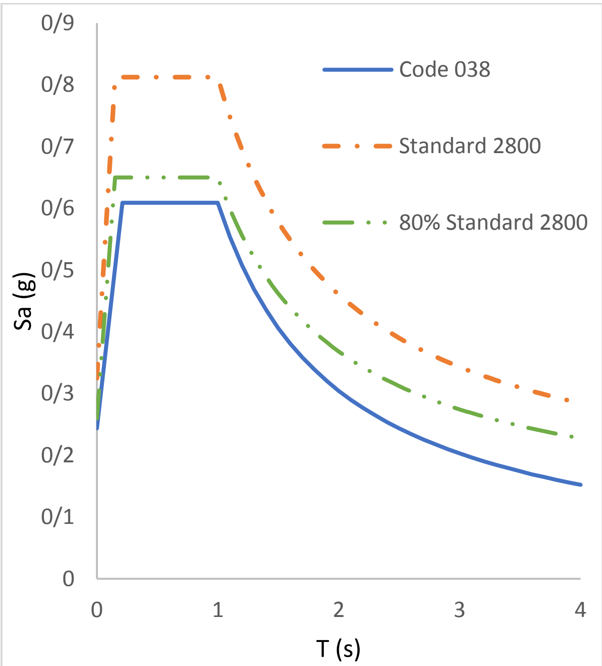
(الف)



(ب)

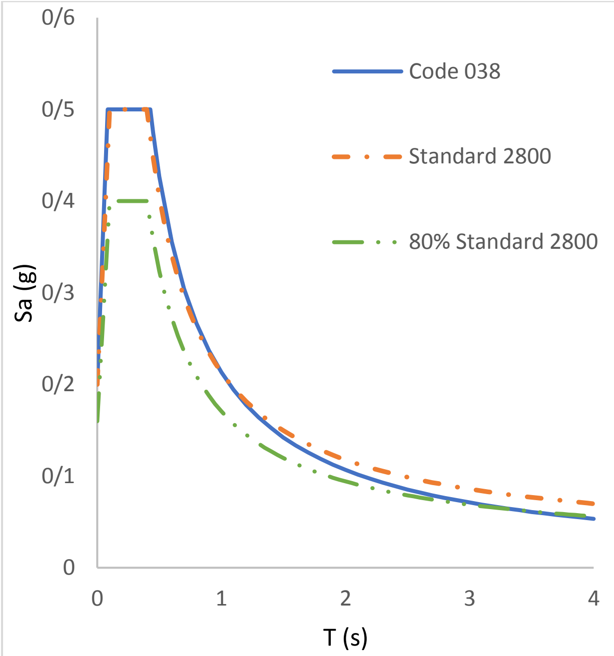


(ج)

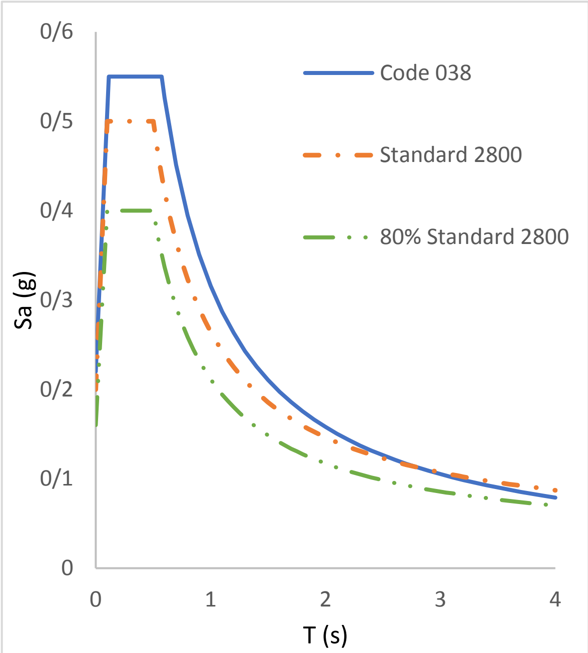


(د)

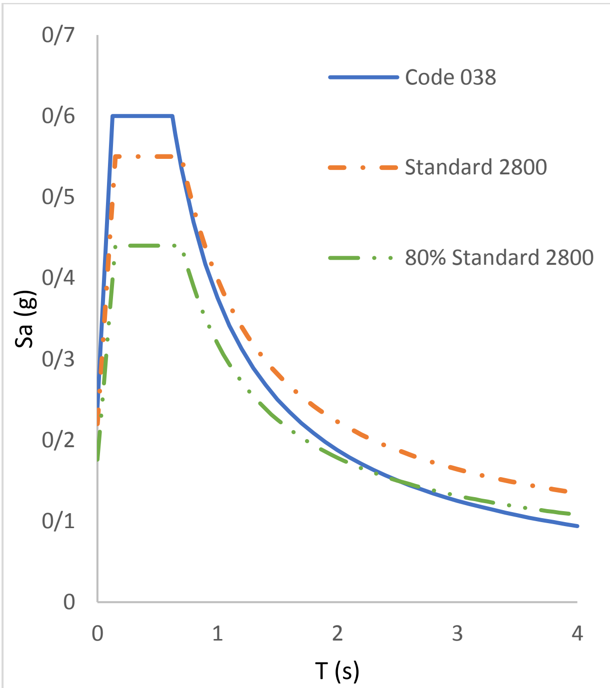
شکل ۷ طیف طرح لرزه‌ای DBE در سطح خطر متوسط و ساختگاه نوع: (الف) I، (ب) II، (ج) III، (د) IV



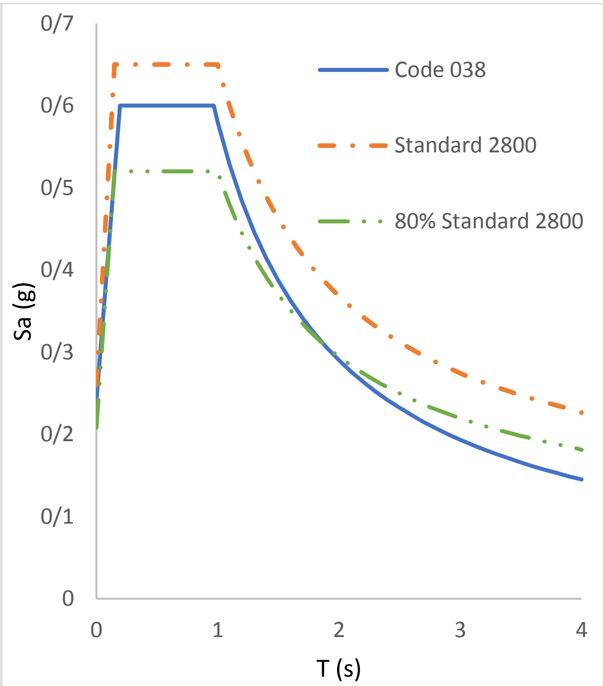
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۸ طیف طرح لرزه‌ای DBE در سطح خطر کم و ساختگاه نوع: (الف) I، (ب) II، (ج) III، (د) IV

مشاهده می‌شود که در پهنه با خطر لرزه‌خیزی بسیار زیاد، در زمان تناوب‌های بالا، مقادیر طیف تطبیقی نشریه ۰۳۸ از مقادیر استاندارد ۲۸۰۰ کمتر می‌شود و برای ساختگاه نوع ۱ و۲، تقریبا از پریود ۲/۵ ثانیه به بعد از ۸۰ درصد مقادیر طیف ۲۸۰۰ نیز

کمتر می‌شود. در ساختگاه‌های نوع ۳ و ۴، شرایط متفاوت‌تر بوده و تقریبا از زمان تناوب ۱/۲۵ ثانیه به بعد طیف تطبیقی نشریه ۰۳۸ از ۸۰ درصد مقادیر طیف استاندارد ۲۸۰۰ کمتر است. لذا در نواحی که مقادیر طیف تطبیقی ۰۳۸ از ۸۰ درصد کمتر است، باید از همان ۸۰ درصد طیف ۲۸۰۰ استفاده شود.

در پهنه با خطر لرزه‌خیزی زیاد نیز تقریبا شرایط مشابه بوده و در ساختگاه نوع ۱ و ۲، تقریبا از زمان تناوب ۲/۵ ثانیه به بعد طیف تطبیقی نشریه ۰۳۸ از ۸۰ درصد استاندارد ۲۸۰۰ کمتر شده است. در ساختگاه‌های نوع ۳ و ۴ نیز تقریبا از زمان تناوب ۱ ثانیه به بعد مقادیر طیف تطبیقی ۰۳۸ کمتر شده است.

در پهنه با خطر لرزه‌خیزی متوسط و در ساختگاه‌های نوع ۱ و ۲، مقادیر طیف تطبیقی ۰۳۸ از ۸۰ درصد استاندارد ۲۸۰۰ کمتر نشده و در زمان تناوب‌های بالا تقریبا با این طیف برابر است. در ساختگاه نوع ۳، تقریبا از زمان تناوب ۱/۵ ثانیه به بعد مقادیر طیف ۰۳۸ از ۸۰ درصد استاندارد ۲۸۰۰ کمتر شده است. در ساختگاه نوع ۴ شرایط متفاوت بوده و در تمام بازه زمان تناوبی، مقادیر طیف تطبیقی ۰۳۸ از ۸۰ درصد مقادیر طیف استاندارد ۲۸۰۰ کمتر است.

در پهنه با خطر لرزه‌خیزی کم و در ساختگاه‌های ۱ و ۲، در تمامی بازه زمان تناوبی، مقادیر طیف تطبیقی ۰۳۸ از ۸۰ درصد استاندارد ۲۸۰۰ بیشتر است. در ساختگاه نوع ۳ و ۴ به ترتیب از زمان تناوب ۳ و ۲ ثانیه مقادیر طیف تطبیقی ۰۳۸ از ۸۰ درصد مقادیر طیف استاندارد ۲۸۰۰ کمتر است.

در ساختگاه‌های نوع ۱ تا ۳، با کاهش مقدار بیشینه شتاب (PGA) از ۰/۳۵ به ۰/۲، مقادیر طیف تطبیقی ۰۳۸ نسبت به طیف استاندارد ۲۸۰۰ بالاتر می‌رود و هر چقدر که به شتاب کمتر نزدیک می‌شویم (۰/۲)، این اختلاف بیشتر می‌شود. در ساختگاه نوع ۴ و در بیشینه شتاب ۰/۲۵، این موضوع نقض شده که دلیل آن کمتر بودن مقدار F_a جدول (۱) نسبت به ساختگاه نوع ۳ است.

بررسی ضرایب ارائه شده در نشریه ۰۳۸

مدول برشی خاک

در جدول (۸)، ضریب کاهش مدول برشی خاک در اثر زلزله که در جدول شماره ۵-۱ نشریه ۰۳۸ ارائه شده، مشاهده می‌شود. در این جدول مقدار این ضریب، بر اساس مقدار نسبت S_{DS} به ۲/۵ در سه بازه کمتر از ۰/۱، ۰/۴ و بیشتر از ۰/۸ ارائه شده‌است. در جدول (۹) نیز مقدار نسبت S_{DS} به ۲/۵ برحسب نوع ساختگاه و مقدار S_S محاسبه شده در این مقاله ارائه شده است. مشاهده می‌شود که حداقل این ضریب برابر ۰/۲ و حداکثر آن برابر ۰/۳۵۰ است. در نتیجه بازه ارائه شده در نشریه ۰۳۸، مناسب مناطق لرزه‌خیزی ایران نیست.

جدول ۸ ضریب کاهش مدول برشی خاک در اثر زلزله، (fe) [1]

طبقه بندی نوع زمین بر اساس استاندارد ۲۸۰۰	نسبت S_{DS} به ۲/۵		
	≤۲/۵	۰/۴	≥ ۰/۸
I	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹۰
II	۰/۹۵	۰/۷۵	۰/۶۰
III	۰/۹۰	۰/۵۰	۰/۱۰
IV	۰/۶۰	۰/۰۵	*

* انجام مطاعات ویژه ساختگاه الزامی است.

جدول ۹ نسبت S_{DS} به ۲/۵ برحسب نوع ساختگاه و مقدار S_S

نوع خاک	S_s = ۰/۷۵	S_s = ۰/۹۴	S_s = ۱/۱۳	S_s = ۱/۳۱
I	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳	۰/۳۵
II	۰/۲۲	۰/۲۵۶	۰/۳	۰/۳۵۰
III	۰/۲۴	۰/۲۸۱	۰/۳۱۵	۰/۳۵۰
IV	۰/۲۴	۰/۲۴۴	۰/۲۷	۰/۳۵۰

ضریب کرانه بالای زمان تناوب محاسباتی

در جدول (۱۰)، ضریب کرانه بالای زمان تناوب محاسباتی ارائه شده در جدول ۴-۷ نشریه ۰۳۸ مشاهده می‌شود. در جدول (۱۱) نیز مقادیر متناظر ارائه شده توسط آیین‌نامه ASCE 7-02 مشاهده می‌شود. مشاهده می‌شود که این جدول نیز مستقیما از آیین‌نامه ASCE 7-02 گرفته شده است. در جدول نشریه ۰۳۸، ضریب کران بالای زمان تناوب محاسباتی C_{Tu} بر اساس چهار بازه S_{D1} کمتر از ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ ارائه شده است. این در حالی است که مقدار S_{D1} محاسبه شده در این مقاله در بازه ۰/۲۱۳ تا ۰/۹۳۸ است و بازه ارائه شده در نشریه ۰۳۸، مناسب مناطق لرزه‌خیزی ایران نیست.

جدول ۱۰ ضریب کرانه بالای زمان تناوب محاسباتی (CTu) ارائه شده توسط نشریه ۰۳۸ [1]

C_{Tu}	S_{D1}
۱/۴	≥۰/۳
۱/۵	۰/۲
۱/۶	۰/۱۵
۱/۷	≤۰/۱

جدول ۱۱ ضریب کرانه بالای زمان تناوب محاسباتی (Cu) ارائه شده توسط آیین‌نامه ASCE 7-02 [2]

Design Spectral Response Acceleration at 1 Second, S_{D1}	Coefficient C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
0.1	1.7
≤ 0.05	1.7

حداقل برش پایه

بر اساس بند ۴-۸-۲-۱ نشریه ۰۳۸ [1]، مشاهده می‌شود در صورتی که مقدار S_1 برابر یا بیشتر از مقدار ۰/۶ باشد، باید رابطه ۴-۳ ارائه شده در نشریه ۰۳۸ نیز در بحث برش پایه کنترل شود این موضوع در حالی است که بر اساس نتایج این مقاله و بدون در نظر گرفتن ضریب حاصل از تحلیل خطر شهر کرمانشاه، مقادیر S_1 در ایران کمتر از ۰/۶ است. این موضوع در بند ۷-۲-۲-۱ مربوط به روش بار جانبی معادل، بند ۱۱-۳-۱ مربوط به روش تحلیل استاتیکی معادل و در پیوست ۳ مربوط به روندنمای طراحی سازه غیرساختمانی و اعضای غیرسازه‌ای نیز تکرار شده و بازه‌بندی روابط این بندها نیز به دو دسته S_1 کمتر از ۰/۶ و بیشتر یا مساوی ۰/۶ تقسیم شده است.

طراحی لرزه‌ای خط لوله زمینی

بر اساس بند ۱۳-۴-۶-۱ نشریه ۰۳۸، در بحث طراحی تجویزی لوله‌ها، ملاحظات لازم برای طراحی به دو دسته S_{DS} کمتر مساوی ۰/۳ و بیشتر از ۰/۳ تقسیم شده است. بر اساس نتایج این مقاله، بازه S_{DS} متناسب با شرایط لرزه‌خیزی ایران بین ۰/۵ تا ۰/۸۷۵ بوده و بازه‌بندی ارائه شده در این بند، متناسب با شرایط لرزه‌خیزی ایران نیست. این موضوع در بند ۸-۶-۵ مربوط به خطوط خدماتی و بند ۱۲-۳-۱۳ مربوط به فاصله آزاد از سطح مایع مخازن نیز مشاهده می‌شود.

بازه‌بندی ضرایب F_a و F_v

در جدول (۱) بازه‌بندی مقادیر ضرایب تبدیل شتاب روی بستر سنگی به سطح خاک ساختگاه نشریه ۰۳۸ مشاهده شد. با توجه به ضرایب محاسبه شده در این مقاله، بازه‌بندی این ضرایب مناسب شرایط لرزه‌خیزی ایران نیست. لذا در جدول (۱۲)، بازه پیشنهادی برای دسته‌بندی مقادیر ضرایب تبدیل شتاب روی بستر سنگی به سطح خاک ساختگاه ارائه شده است. پیشنهاد می‌شود برای تطابق مناسب‌تر با مناطق لرزه‌خیزی ایران، از این بازه‌بندی برای محاسبه مقدار F_a وF_v و سایر ضرایب استفاده شود. بازه پیشنهادی با در نظر گرفتن مناطق چهارگانه لرزه‌خیزی ایران، ضریب ۰/۸ کران پایین و ضریب ۰/۴۷ حاصل از تحلیل خطر شهر کرمانشاه ارائه شده است.

جدول ۱۲ بازه پیشنهادی برای دسته‌بندی مقادیر ضرایب تبدیل شتاب روی بستر سنگی به سطح خاک ساختگاه

S_s	≤ ۰/۶	۰/۸	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۶
S_1	≤ ۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۶۵	۰/۷۵

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه طیف طرح ارائه شده در نشریه ۰۳۸ بر پایه دو شتاب طیفی S_S وS_1 است و از آنجایی که پهنه‌بندی مقادیر S_S و S_1 برای مناطق ایران موجود نیست، لذا در این مقاله به تطبیق طیف نشریه ۰۳۸ با طیف طرح متداول مورد استفاده در ایران (استاندارد ۲۸۰۰) پرداخته شد. این موضوع با تطبیق روابط شتاب طیفی بر روی سنگ بستر انجام شد. سپس ضرایب ارائه شده در نشریه ۰۳۸ مورد بررسی قرار گرفت. از نتایج تحلیل خطر شهر کرمانشاه نیز برای بررسی دقیق‌تر ضرایب استفاده شد. با توجه به تأکید آیین‌نامه‌های زلزله به ملاحظات خاص ژئوتکنیک لرزه‌ای در ساختگاه‌های خاص، کلیه تفاسیر و نتایج این مقاله بر شرایطی که در آیین‌نامه‌ها انجام مطالعات ویژه ساختگاه توصیه شده است، وارد نمی‌باشند. در ادامه نتایج ارائه می‌شوند:

۱. مشاهده شد که طیف طرح نشریه ۰۳۸، برگرفته از طیف آیین‌نامه ASCE 7-02 آمریکا بوده و متناسب با شرایط لرزه‌ای ایران نیست.
۲. مقدار ضرایب S_S، S_1 ، F_a و F_V، S_{DS} و S_{D1} بر اساس مناطق چهارگانه لرزه‌خیزی ایران محاسبه و ارائه شد.
۳. طیف‌های طرح لرزه‌ای متناسب با شرایط لرزه‌خیزی ایران رسم و با طیف استاندارد ۲۸۰۰ مقایسه شد.
۴. ضریب $\frac{۲}{۳}$ ارتباط دهنده طیف ۲۴۷۵ سال به طیف ۴۷۵ سال، بر اساس نتایج تحلیل خطر شهر کرمانشاه مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد این ضریب برای این منطقه دقت کافی را ندارد. در نتیجه بر اساس میانگین ضریب تحلیل خطر شهر کرمانشاه (۰/۴۷)، مقادیر S_S و S_1 مجددا محاسبه شد.
۵. مشاهده شد که بازه‌بندی انجام شده ضرایب در نشریه ۰۳۸، مناسب مناطق چهارگانه لرزه‌خیزی ایران نیست.
۶. بازه پیشنهادی برای دسته‌بندی مقادیر ضرایب تبدیل شتاب روی بستر سنگی به سطح خاک ساختگاه، متناسب با شرایط لرزه‌خیزی ایران ارائه شد.

واژه‌نامه

طیف طرح	Design Spectrum
شتاب طیفی	Spectral Acceleration
میرایی	Damping
دوره بازگشت	Return Period
زمان تناوب (مود اصلی)	Fundamental Period
تحلیل خطر احتمالاتی	Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA)
بیشینه شتاب	Peak Ground Acceleration – (PGA)
تحلیل استاتیکی معادل	Equivalent Static Analysis

سپاسگزاری

مراجع

[1] *Iranian Seismic Design Code for Petroleum Facilities, (No.038-16), National Iranian Oil Company, Tehran, Iran*, NIOC, 3th edition, 2016.

[2] ASCE, Minimum design loads for buildings and other structures. (ASCE 7-02), American Society of Civil Engineers., second edition, 2002.

[3] *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (Standard No. 2800) 4th edition, Building and Housing Research Center*, BHRC, Tehran, Iran, 2015.

[4] F. Omidinasab, "Evaluation of Seismic Design Forces of Liquid Storage Elevated Tanks based on Standard Design 2800 and Publication No. 38 in the Area with very High Relative risk of Earthquake," *Journal of Concrete Structures and Materials*, vol. 8, no. 1, pp. 212-231, 2023. https://doi.org/10.30478/jcsm.2023.404123.1333.

[5] M. A. Barkhordari, M. Zaheri, and M. Ghafarinia, "Comparison of the design code of buildings against earthquakes with the general rules of the code of seismic design of facilities and structures in the oil industry and providing suggestions for modifying the rules," presented at the An Attitude Towards Earthquake Design Regulations (Standard 2800); Present and future, 2009.

[6] E. V. Leyendecker, R. J. Hunt, A. D. Frankel, and K. S. Rukstales, "Development of maximum considered earthquake ground motion maps," *Earthquake Spectra*, vol. 16, no. 1, pp. 21-40, 2000. https://doi.org/10.1193/1.1586081.

[7] M. Biglari, I. Ashayeri, and R. Moftizadeh, “Urban planning of Kermanshah city based on the seismic geotechnical hazards,” *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, vol. 17, no. 3, pp. 203-211, 2015.

[8] N. N. Ambraseys, J. Douglas, S. Sarma, and P. Smit, “Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration,” *Bulletin of earthquake engineering*, vol. 3, pp. 1-53, 2005. https://doi.org/10.1007/s10518-005-0183-0.

[9] M. Zare, “An introduction to applied seismology,” *Tehran: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology*, 2005.

[10] H. Ghasemi, M. Zare, Y. Fukushima, and K. Koketsu, “An empirical spectral ground-motion model for Iran,” *Journal of seismology*, vol. 13, pp. 499-515, 2009. https://doi.org/10.1007/s10950-008-9143-x